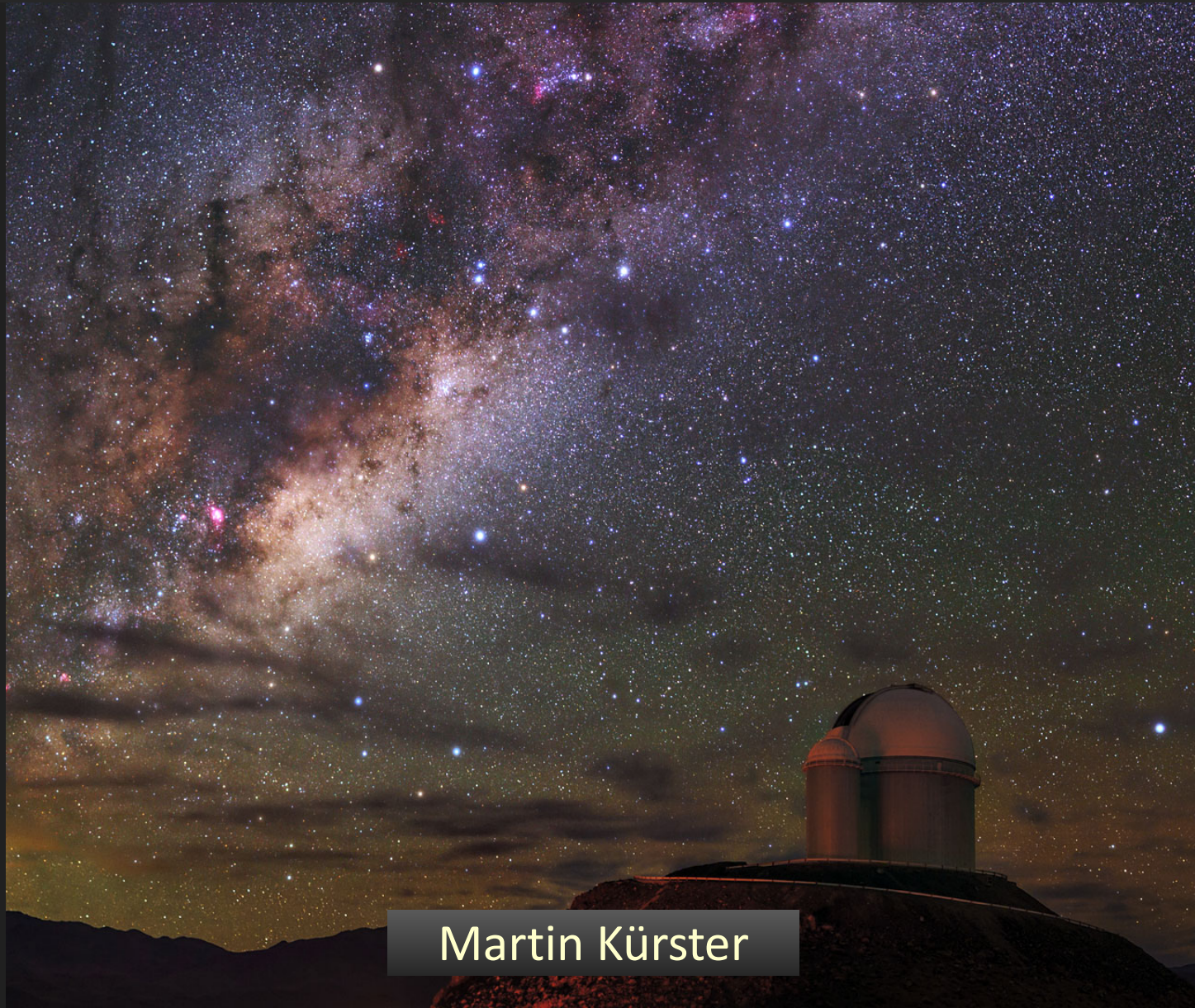


Wie groß ist das Universum?

ESO La Silla, Chile

Martin Kürster

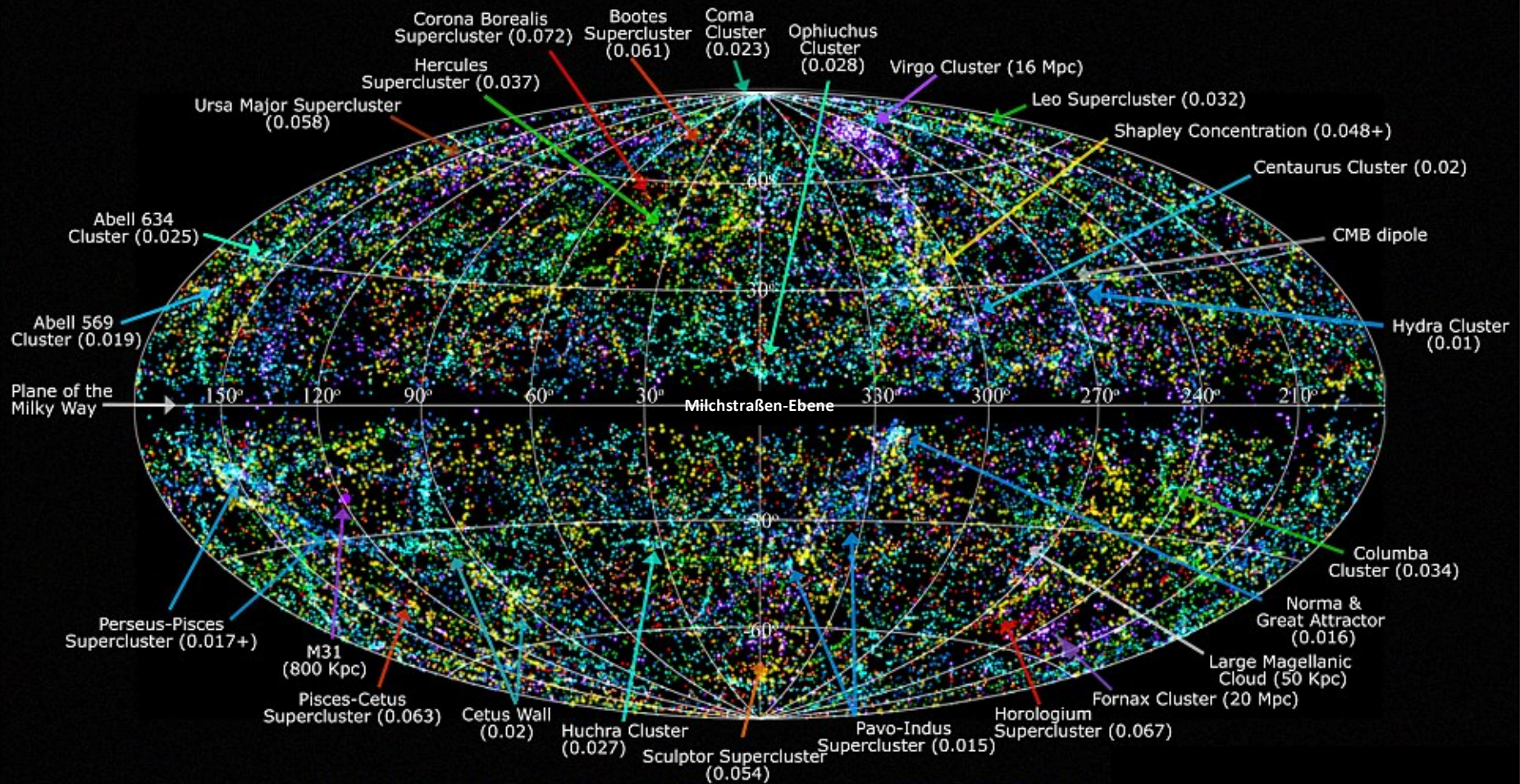


Vorbemerkung

Nr. 1:

Das nahe Universum

Das „nahe“ Universum – Strukturen bis 1 Mrd. Lichtjahre Entfernung = 10.000.000.000.000.000.000 km



Galaxien der 2MASS-Himmelsdurchmusterung im nah-infraroten Licht, farbkodiert nach ihrer Entfernung

Grafik von T. Jarrett (IPAC/Caltech)

Vorbemerkung

Nr. 2:

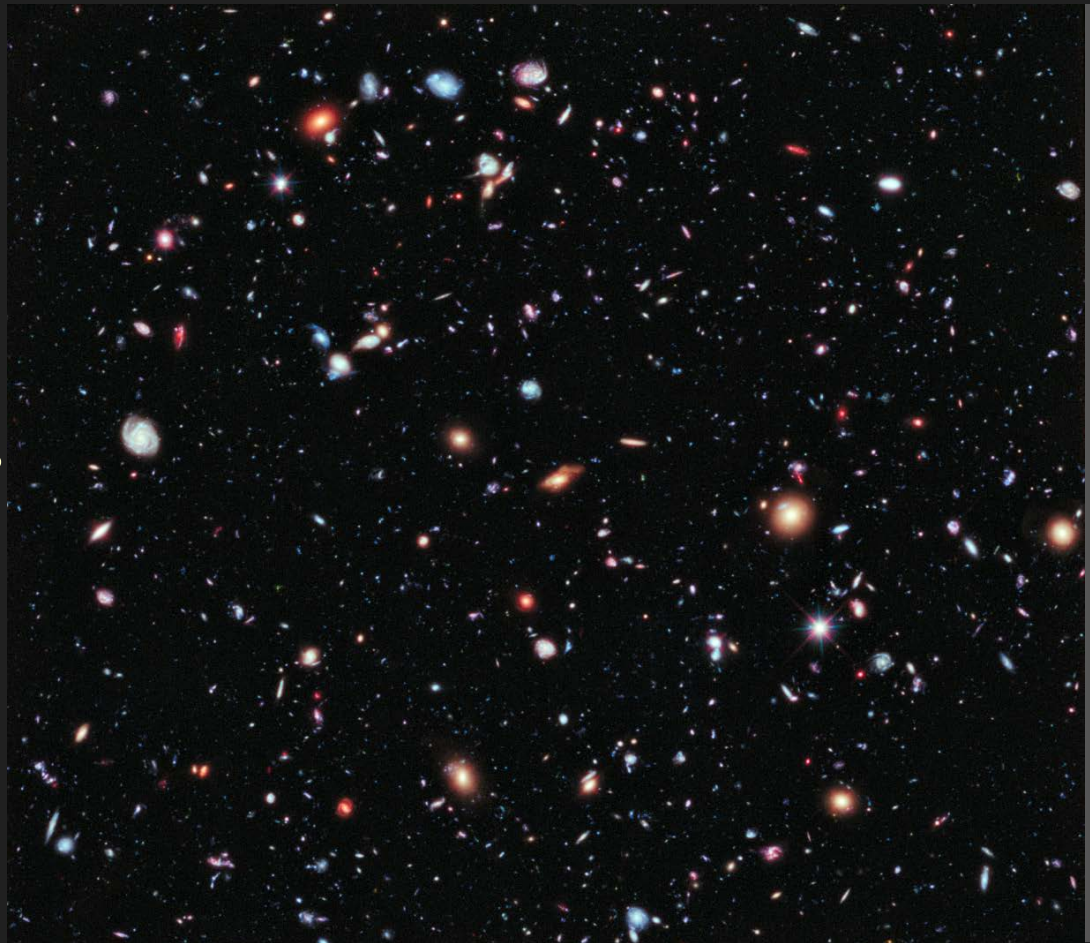
Das ferne Universum

Das ferne Universum

Das Hubble eXtreme Deep Field –
eine extrem lange Belichtung durch das Weltraumteleskop Hubble

- Summe von 2000 Einzelaufnahmen
- Gesamte Belichtungszeit: 23 Tage
- Galaxien mit bis zu 13,2 Mrd. Lichtjahren Entfernung

↑
1°
↓



NASA, ESA, G. Illingworth, D. Magee, P. Oesch (University of California, Santa Cruz), R. Bouwens (Leiden University), das HUDF09-Team

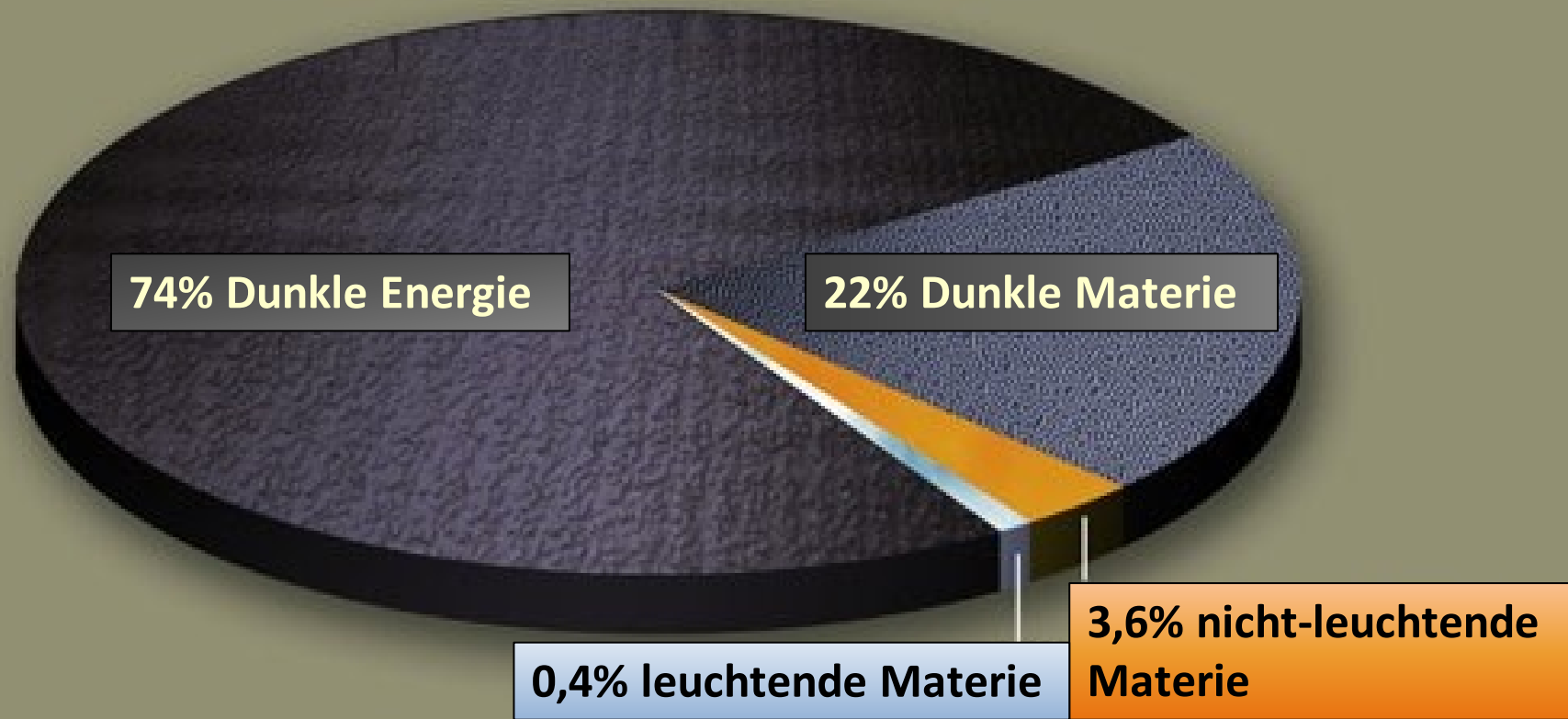
Vorbemerkung

Nr. 3:

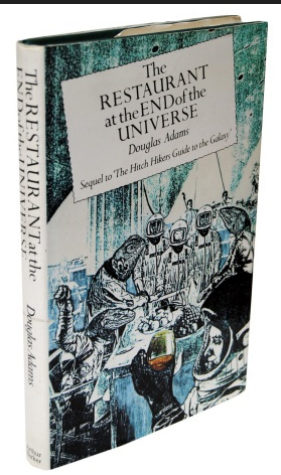
Woraus besteht das Universum?

Woraus besteht das Universum?

Energie und Materie: $E = mc^2$



ein Zitat ...



Vorwort zum 2. Band der Serie *Per Anhalter durch die Galaxis:*

„Das Restaurant am Ende des Universums“

von **Douglas Adams**

Es gibt eine Theorie, die besagt, wenn jemals irgendwer genau herausfindet, wozu das Universum da ist und warum es da ist, dann verschwindet es auf der Stelle und wird durch noch etwas Bizarreres und Unbegreiflicheres ersetzt.

Es gibt eine andere Theorie, nach der das schon passiert ist.

Wie groß ist das Universum?

Die meisten Astronomen sind der Ansicht, dass das Universum *unendlich groß* ist, dass es also *keine Grenze in Raum und Zeit* hat.

→ Das beantwortet die Frage schon – oder etwa nicht?

Aber – reicht Ihnen eine *Ansicht*?

Ich setze einfach mal voraus, dass Sie mit dem Begriff „*unendlich*“ etwas anfangen können und ignoriere etwaige damit verbundene Probleme ...

... treten wir einen Schritt zurück und fragen wir uns:

Worüber versuchen wir hier eigentlich eine Aussage zu machen?

Was bedeutet der Begriff „Universum“ überhaupt?

Universum:

Ein Synonym für die Gesamtheit der Welt, den Kosmos oder das Weltall. Damit verbirgt sich hinter dem Universum alles, was wir kennen, erfassen und wahrnehmen können, aber sicher auch Dinge, die wir (noch) nicht kennen.

*Quelle: **Astronomie Wissen:** <http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/>*

... wir machen also eine Aussage über ...

... die ganze physikalische Welt,
das **Größte**, das wir uns vorstellen können.

Wir wollen hier die Spekulationen der modernen **Kosmologie** außer Acht lassen, dass es viele Universen geben könnte, die zusammen ein „**Multiversum**“ bilden – also die Hypothese, dass es außer unserem Universum noch **andere Universen** gibt, die es irgendwie schaffen „**außerhalb des großen Ganzen**“ zu existieren.



Künstlerische Darstellung eines Multiversums

Kosmologie:

Lehre von Ursprung, Entwicklung
und Struktur des Kosmos

... das große Ganze

Größe

Wie bestimmen wir die Größe des Universums?

... erst mal brauchen wir einen Maßstab ...

Die Maßeinheit: Das Lichtjahr ...

... ist keine Zeiteinheit, sondern eine Entfernungseinheit

... ist diejenige **Strecke**, die das Licht in einem Jahr zurücklegt.
→ fast 10 Billionen km (9.460.528.436.000 km)

Nach Albert Einsteins spezieller Relativitätstheorie kann sich **nichts** im Universum **schneller als das Licht** bewegen

→ Einen Himmelskörper in einem Lichtjahr Entfernung sehen wir heute so, wie er vor einem Jahr aussah, denn das Licht war so lange von dort zu uns unterwegs

... Beispiele

Entfernungsbeispiele:



Erde – Mond: 1,3 Lichtsekunden ↗

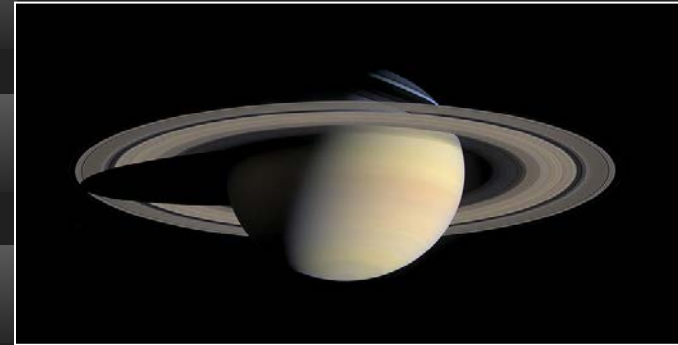
Erde – Sonne: 8,3 Lichtminuten

Sonne – Saturn: 1,3 Lichtstunden →

Sonne – α Centauri: 4,3 Lichtjahre

Sonne – Zentrum
der Milchstraße: ca. 25.000 Lichtjahre

Milchstraße –
Andromeda-Galaxie: 2,5 Mio. Lichtjahre →



Größenmessung

Gewöhnlich wird dabei der Abstand von Punkten im Raum bestimmt.

Genau das ist aber nicht so einfach, wenn man nicht hingehen kann.

Die Astronomen haben ausgereifte Methoden, die Entfernung der Himmelskörper zu bestimmen.

- | | |
|---|---|
| - Stern-Parallaxen | → Sonnenumgebung,
Großteil der Milchstraße |
| - Periode-Leuchtkraft-Beziehung
der Cepheiden-Sterne | → Nachbargalaxien,
Virgo-Galaxienhaufen |
| - Rotverschiebung der Spektrallinien | → entfernte Galaxien |
| - Helligkeitsverläufe bestimmter
explodierender Sterne | → entfernte Galaxien |

... Größenmessung im Universum:

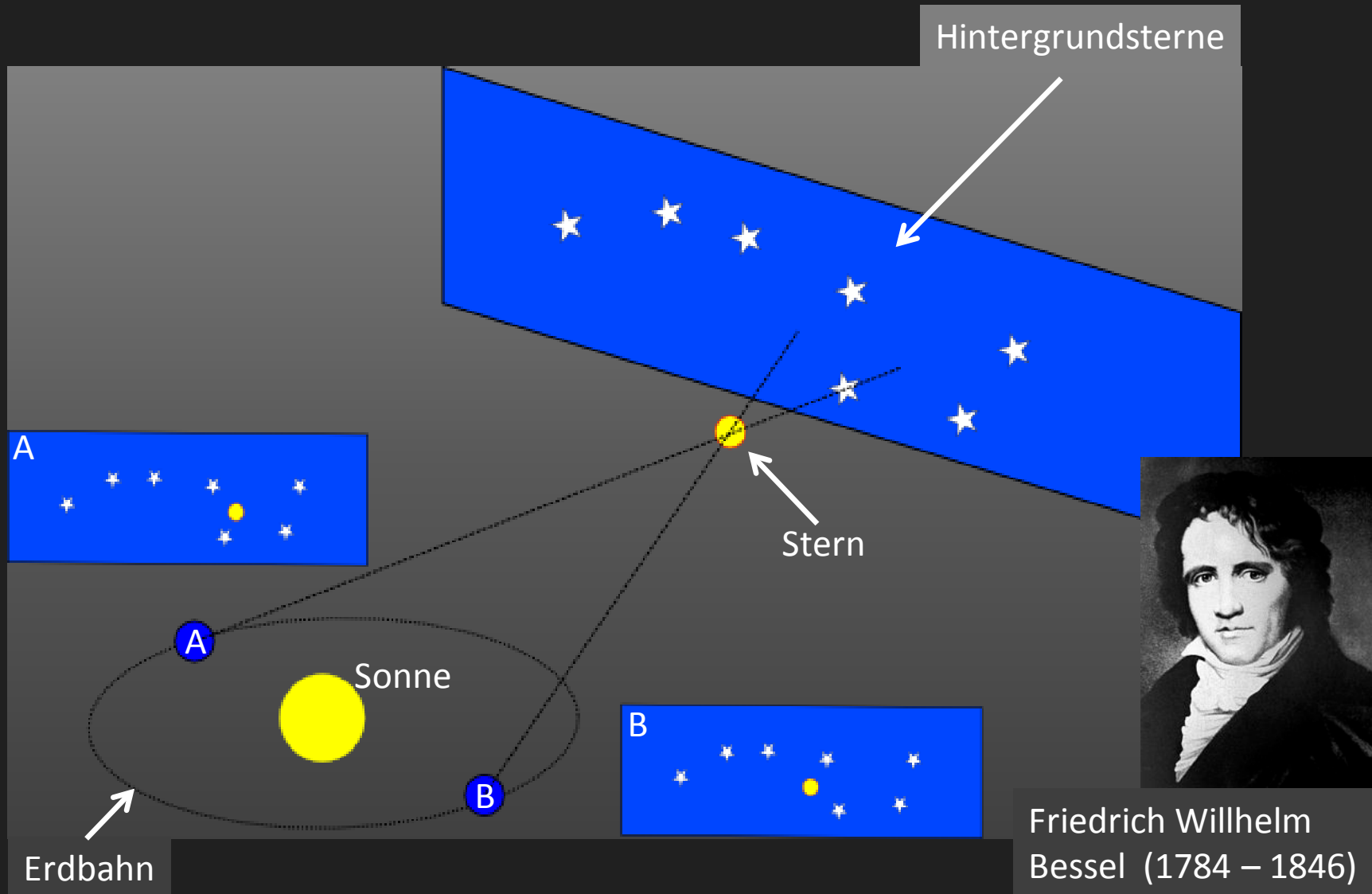
Entfernungsbestimmung

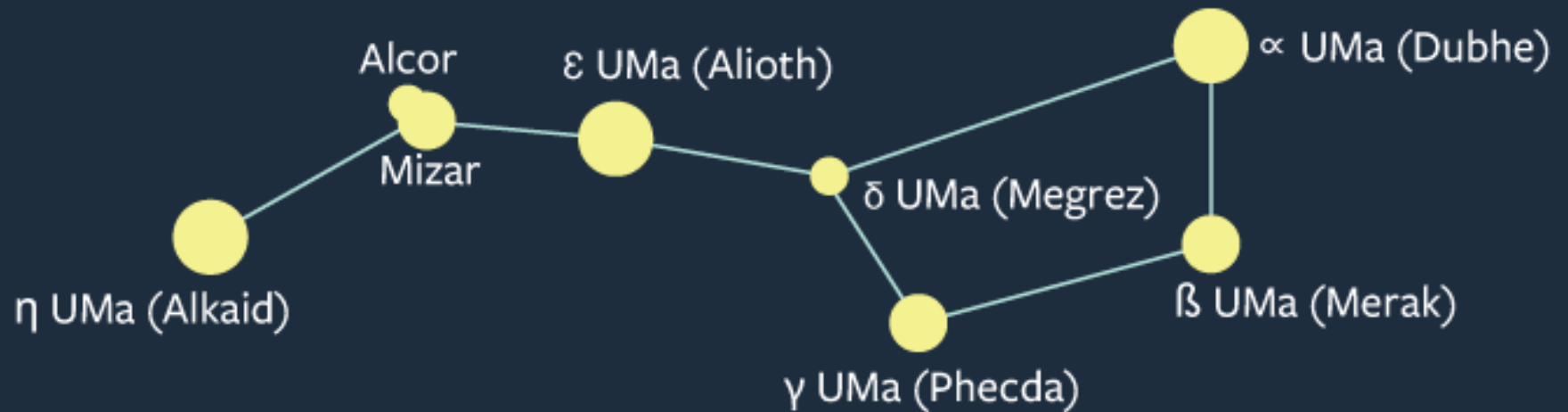
Parallaxe



Daumensprung

Stern-Parallaxen

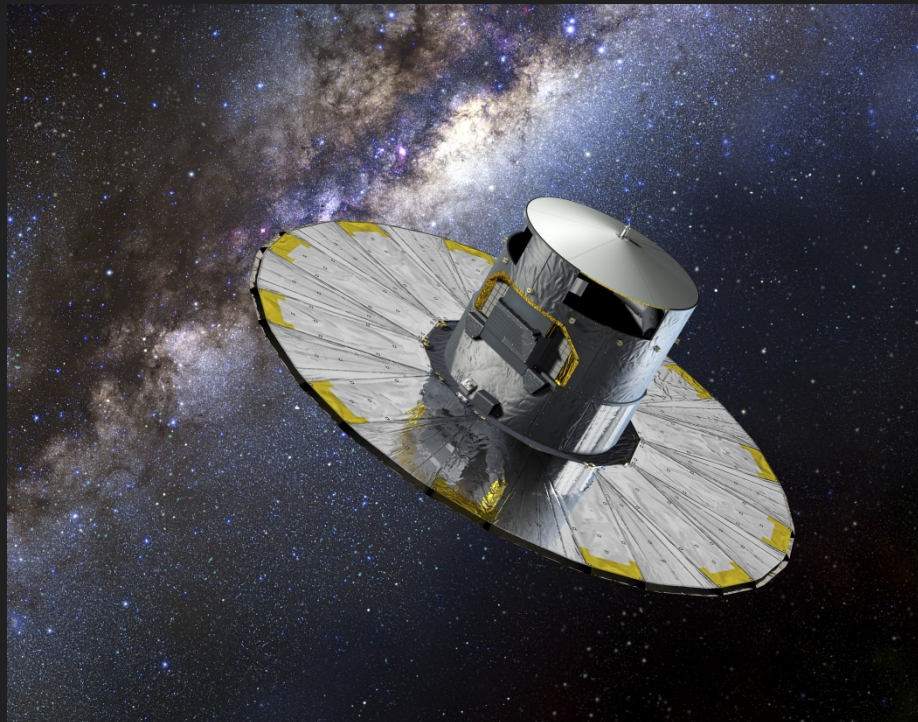




Stern-Parallaxen

Ursprünglich auf Sterne in unserer Nachbarschaft angewendet

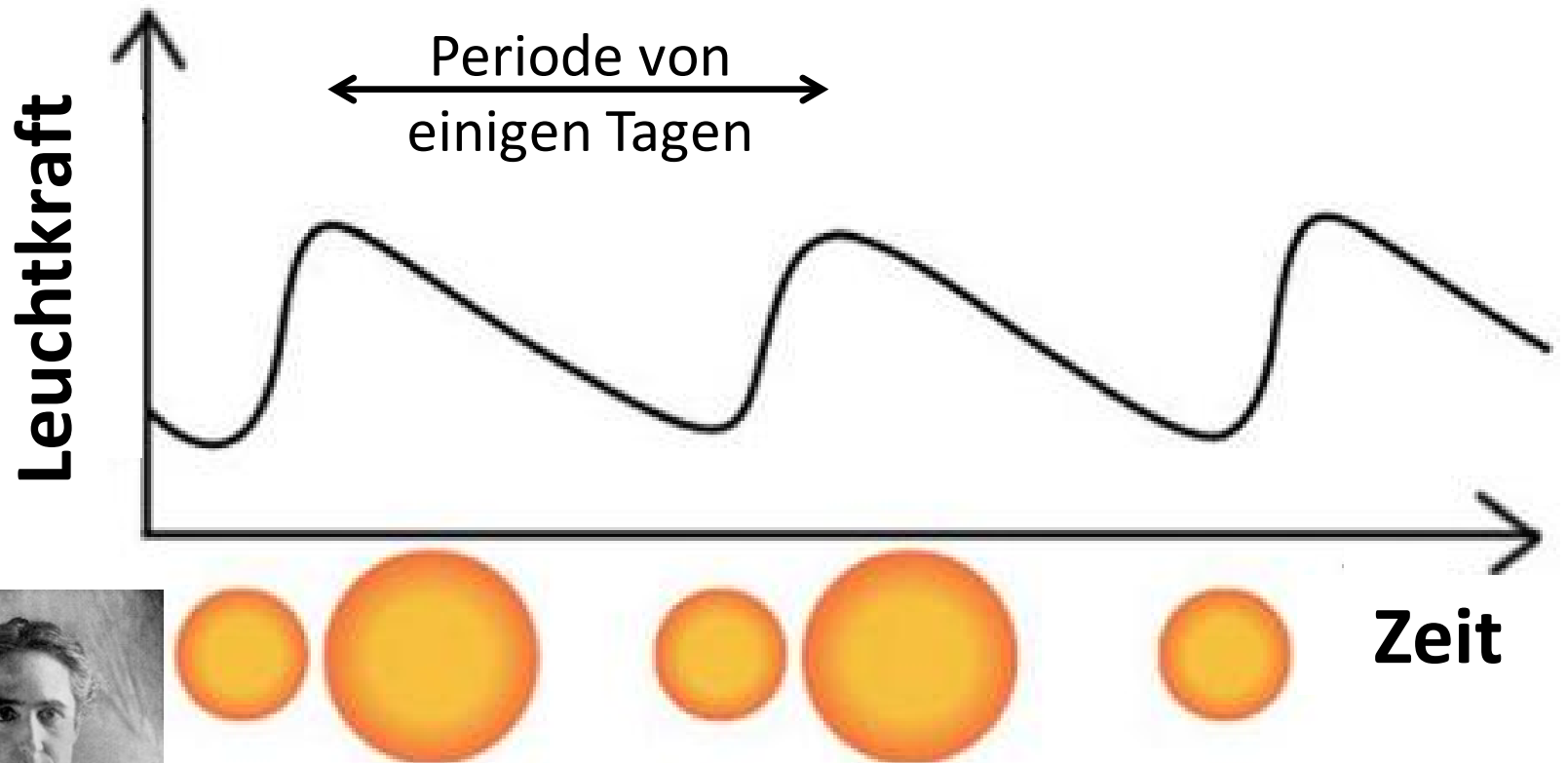
Mit der neuen Satellitenmission GAIA (ESA) wird die Entfernung von Sternen bis hin zum Zentrum der Milchstraße vermessen



Künstlerische Darstellung

Cepheiden –

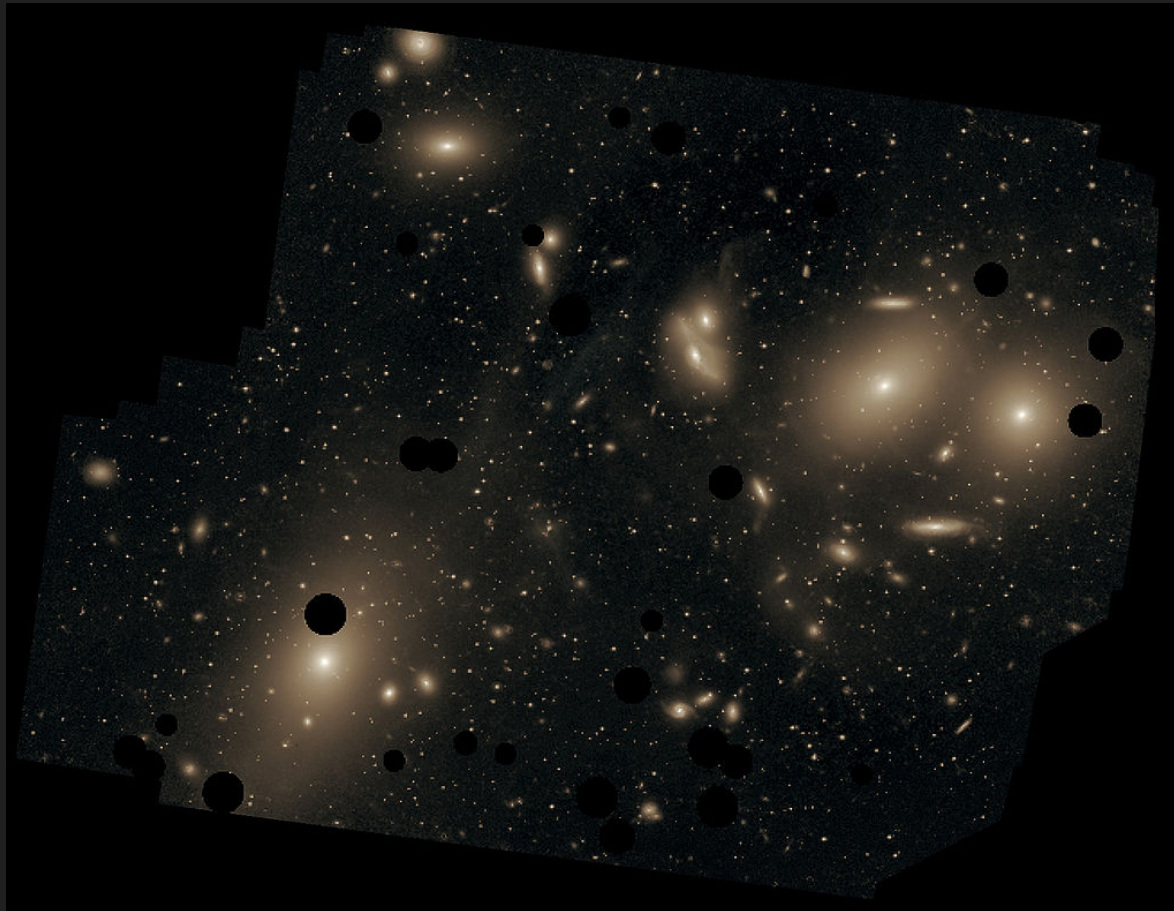
„pulsierende“ Sterne mit „Periode-Leuchtkraft-Beziehung“



Henrietta Swan Leavitt (1868 – 1921):
Cepheiden leuchten umso heller je länger ihre Periode ist

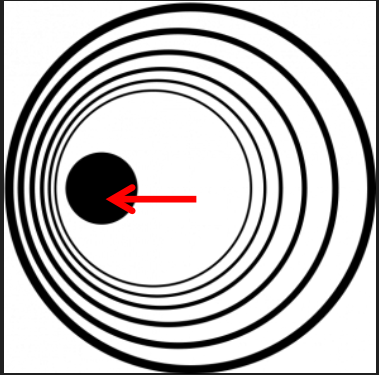
Cepheiden

Sichtbar bis hin zum Zentrum des Virgo-Galaxienhaufens, in dessen „Vorgarten“ sich auch die Milchstraße befindet



... und nun die Methoden für
die **großen** Entfernungen im Universum ...

Die Rotverschiebung der Spektrallinien – Doppler-Effekt

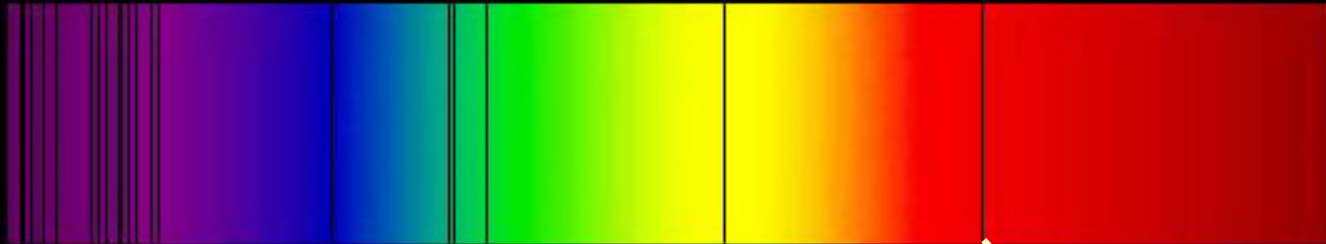


Doppler-Effekt bei Wellenerscheinungen:
→ Kürzere Wellenlängen in Bewegungsrichtung

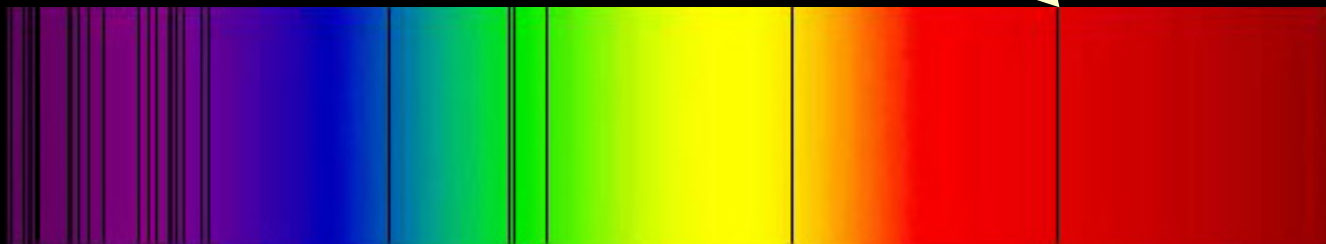
- Wasserwellen – Boot
- Schall – Rennauto, Rettungswagen
- Licht – Spektrallinien



Christian Andreas
Doppler
(1803 – 1853)



Fraunhofer-Linien im Spektrum der Sonne

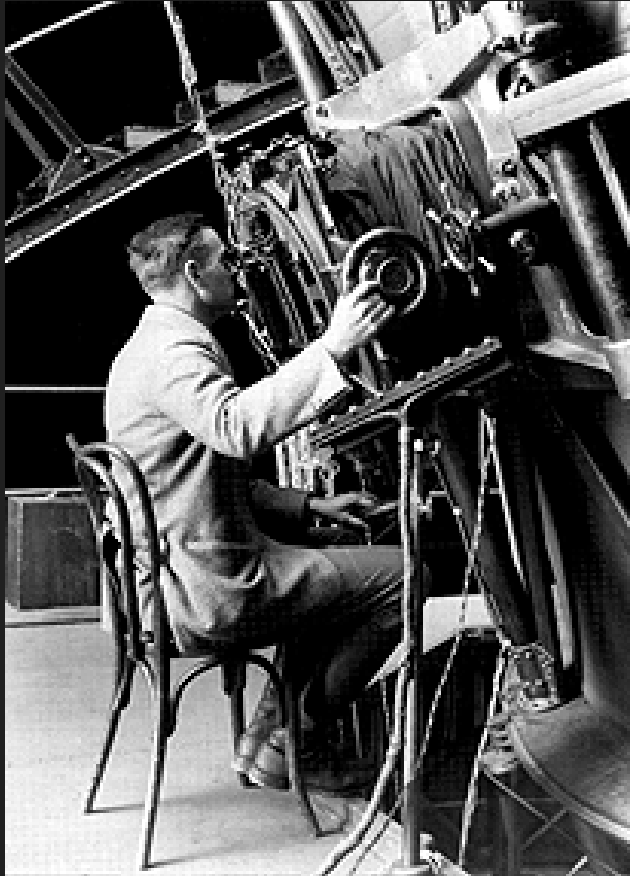


Linien im Spektrum einer entfernten Galaxie – *sie entfernt sich!*



Joseph von
Fraunhofer
(1787 – 1826)

Die Rotverschiebung der Spektrallinien – Hubbles Gesetz



Edwin Hubble (1889 – 1953):

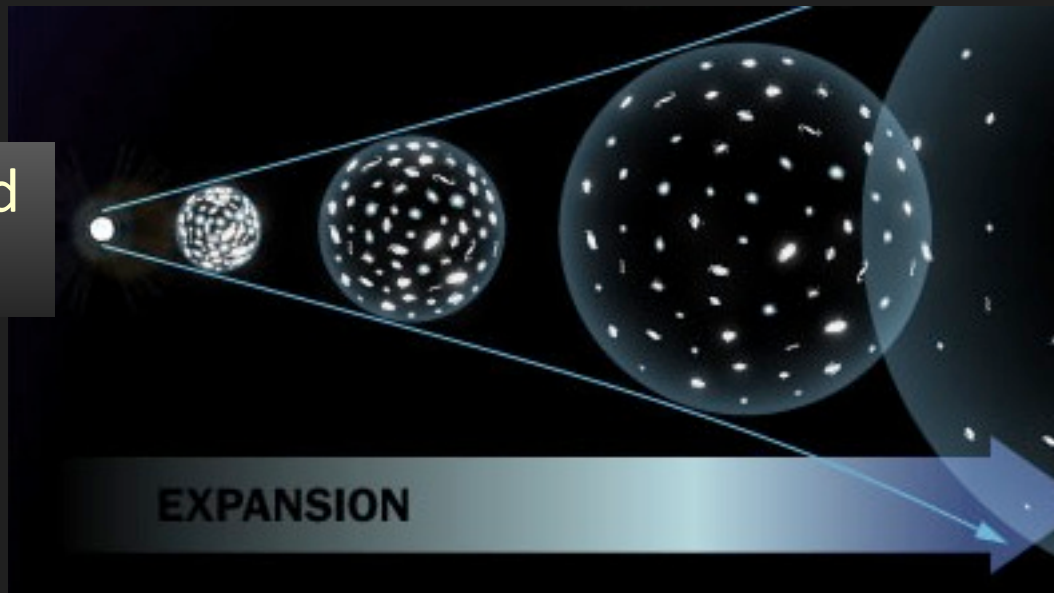
Je weiter die Galaxien entfernt sind,
desto schneller entfernen sie sich von uns

Da wir bestimmt keine Sonderstellung im
Universum einnehmen, muss diese
Beobachtung auch für andere kosmische
Standorte gelten

- Das Universum expandiert
- Vor 13,8 Mrd Jahren war alles eng
beisammen ...

... das Universum expandiert ...

Vor 13,8 Mrd
Jahren



Heute

- Kein Mittelpunkt !
- Alles entfernt sich von allem !

- Alles war früher einmal sehr eng beieinander → **Urknall !**

Supernovae vom Typ Ia

SN 1994D in NGC 4526



NASA/ESA, The Hubble Key Project Team
and The High-Z Supernova Search Team



Künstlerische Darstellung des Vorläufersystems

- SN Ia haben alle in etwa die gleiche absolute Helligkeit
- Aus ihrer scheinbaren Helligkeit lässt sich ihre Entfernung bestimmen
- ... und damit auch die Entfernung der Galaxie

- ... und noch etwas wissen wir durch die SN Ia:

- ***Das Universum expandiert beschleunigt !***

... aber halt – einen Schritt zurück

... wir müssen erst noch etwas
genauer verstehen, was es mit der
Expansion auf sich hat.

Die kosmische Expansion – die Ausdehnung des Weltraumes

Wiederholung: Einen Himmelskörper in einem Lichtjahr Entfernung sehen wir heute so, wie er vor einem Jahr aussah, denn das Licht war so lange von dort zu uns unterwegs

Ja, wenn es so einfach wäre!

Bei 1 Lichtjahr Entfernung stimmt es noch, aber im großen Maßstab nicht, denn weil der Raum sich aufbläht, entfernen sich die Objekte des Universums voneinander ...

Die Folge dessen am Beispiel einer sehr weit entfernten Galaxie ...

Betrachten wir eine sehr weit entfernte Galaxie –
oder vorsichtigerweise ausgedrückt:
eine Galaxie, von der das Licht sehr lange zu uns unterwegs war,
sagen wir **13 Mrd. Jahre**.

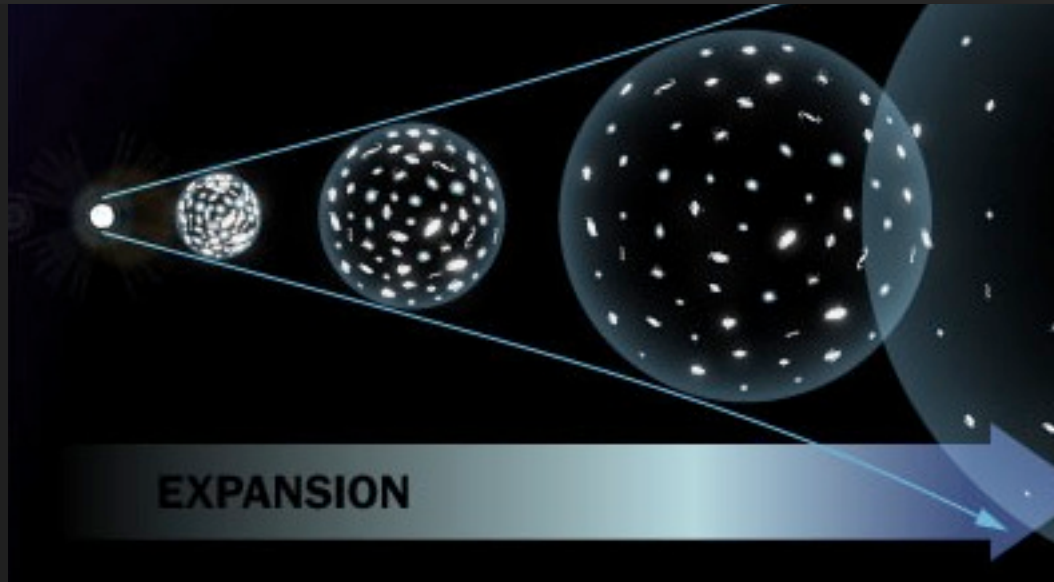
Vor **13 Mrd. Jahren**, als die Galaxie das Licht aussandte, war sie
uns wegen der Ausdehnung des Weltraums noch viel näher:
ca. 3,4 Mrd. Lichtjahre.

Wenn sie auch in jüngerer Zeit der Expansion des Raums unterlag
– was wir nicht beobachten können! –,
dann ist sie inzwischen aber viel weiter entfernt, nämlich:
ca. 46 Mrd. Lichtjahre.

... und noch verrückter:

Alles, was im Universum vor 13,8 Mrd. Jahren existierte, war in unserer unmittelbaren Nachbarschaft angesiedelt.

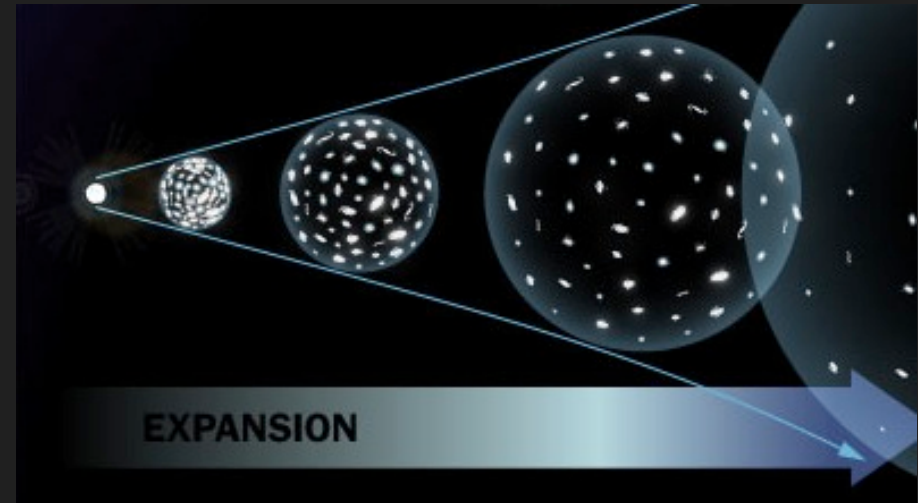
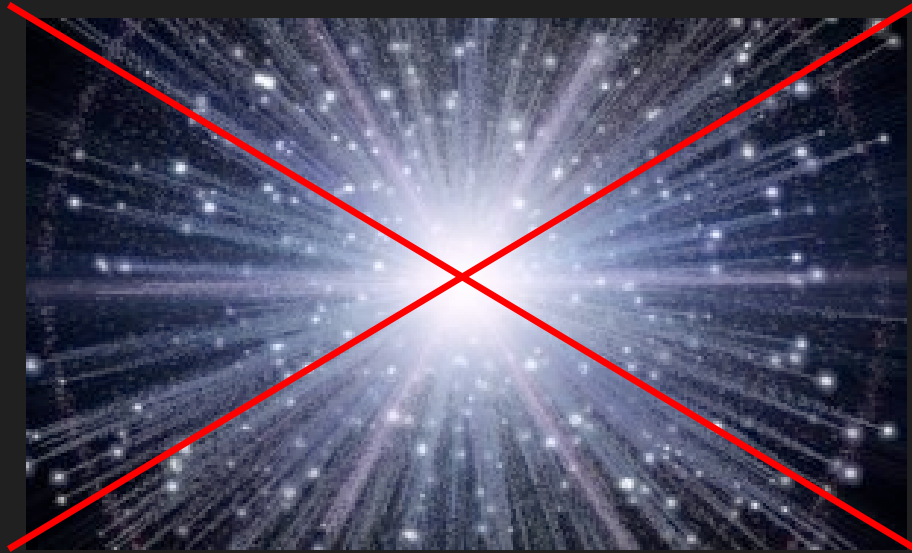
Denn alles im Universum war ja zunächst ganz dicht zusammengeballt, die Dinge entfernten sich erst durch die kosmische Expansion voneinander.



Diese Überlegungen führen direkt zur Idee des **Urknalls**.

Urknall ja ...

... aber nicht so:



Es gab keinen Raum, in den etwas hinein explodieren konnte
– der Raum selbst entstand (wie auch die Zeit)
und seitdem expandiert er.

... und noch ein wichtiges Prinzip:

Um astronomische Methoden zur Entfernungsmessung auf das Universum als Ganzes anwenden zu können, muss folgende Annahme von großer Tragweite gemacht werden:

Annahme:

Die bekannten Messverfahren funktionieren auch bei den größten möglichen Entfernungen und zu allen Zeiten.

→ **Universalität der Naturgesetze**

Sie müssen überall und immer gelten!

... und das bedeutet?

... das bedeutet, dass wir Theorien
– übrigens sehr gute Theorien –
über die Größe des Universums haben,
aber kein absolut gesichertes Wissen.

Einer der Gründe:

Wir können das Universum
nicht verlassen und
„von außen“ vermessen.
(Wir wissen nicht einmal,
ob es ein „Außen“ gibt.)

Wir müssen uns innerhalb
des Universums mit unseren
Messmethoden sozusagen
„entlang hangeln“



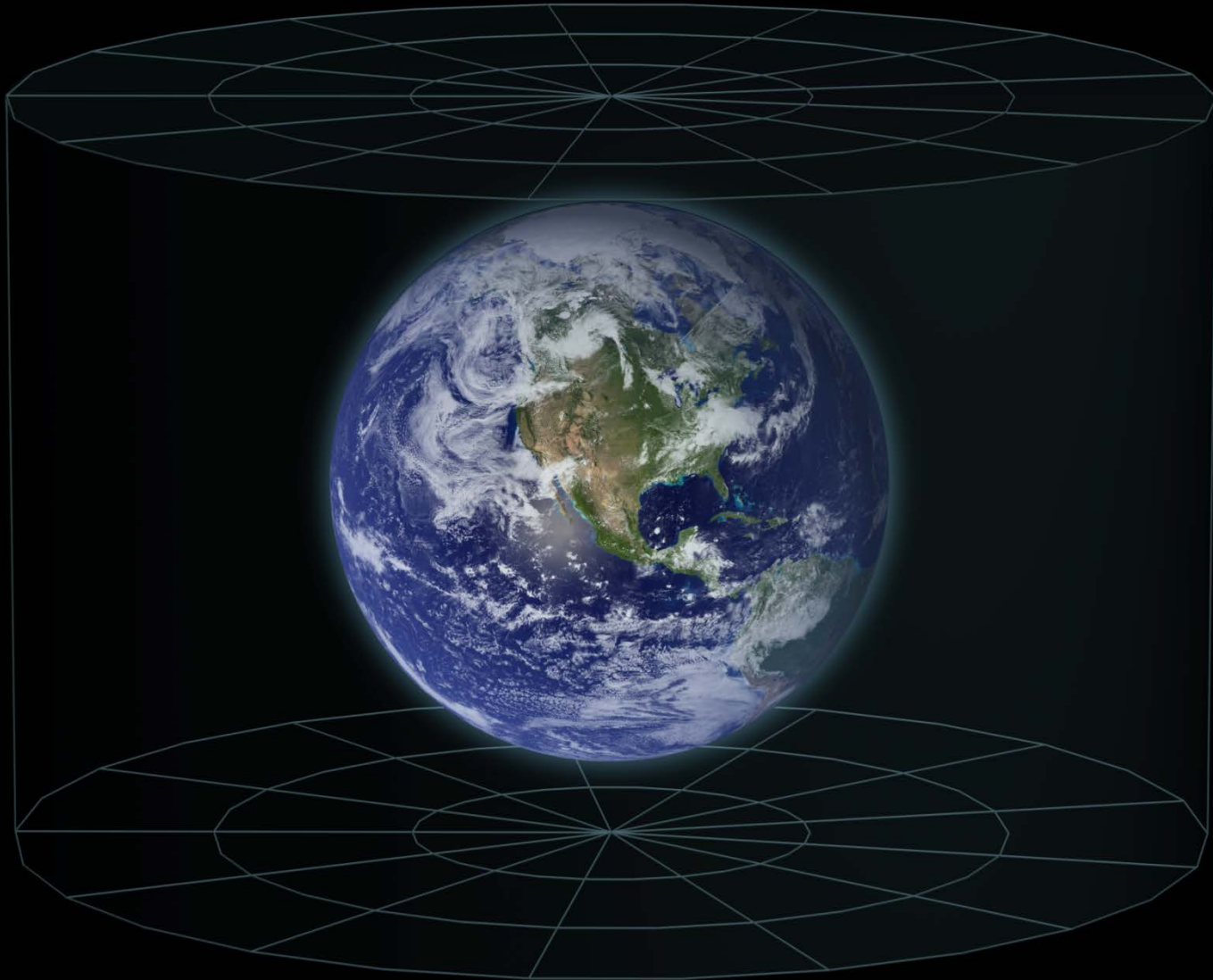
*... und was können wir
von innen sehen?*

Holzschnitt Flammarion, anonymer Künstler

Das beobachtbare Universum

... eine große Reise

Erde



Durch-
messer

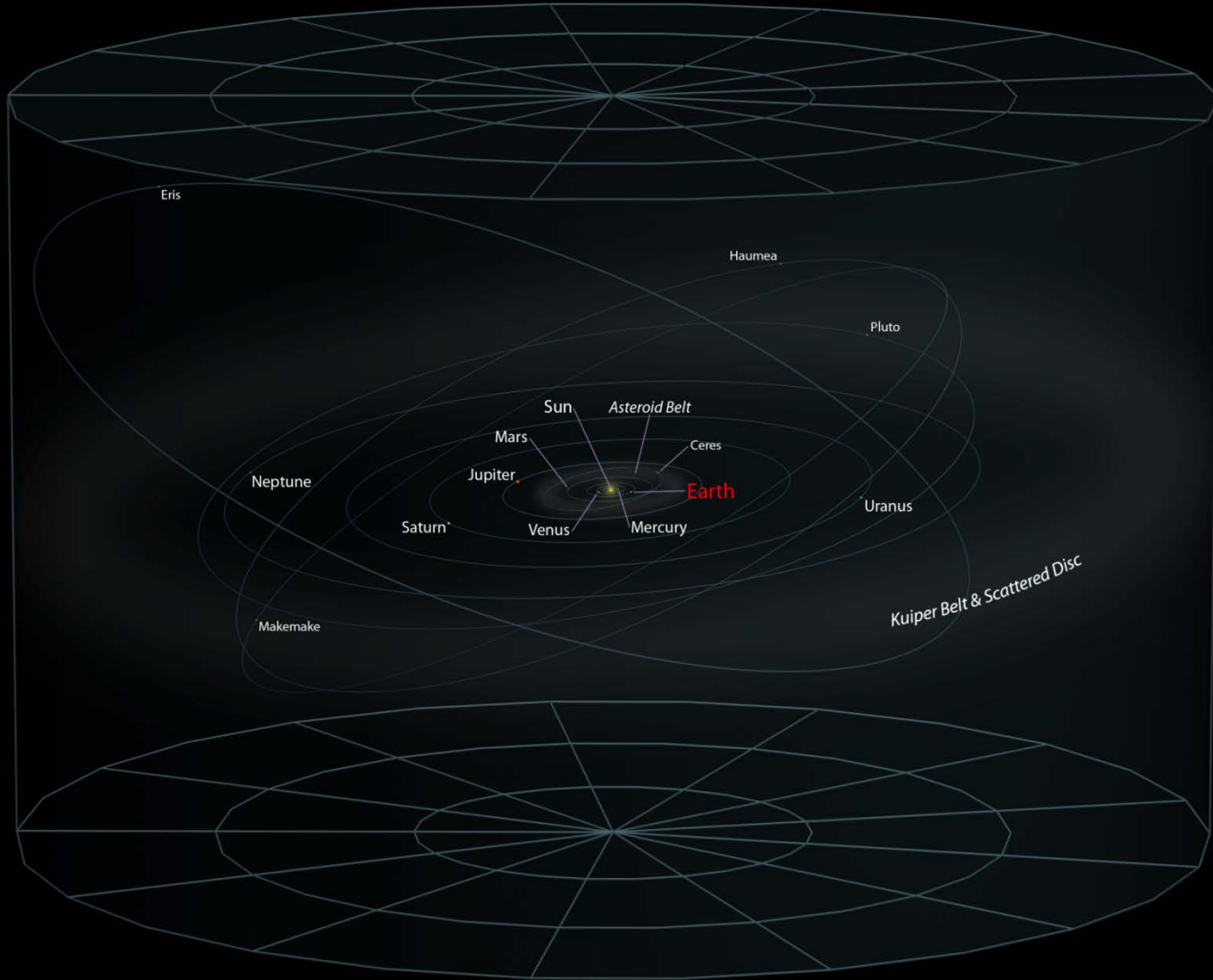
12 742 km

0,043
Licht-
sekunden

Bild-Quelle:
Wikimedia

Sonnensystem

x 2 Mio.



Größe

ca. 150 x
Entfernung
Erde - Sonne

knapp
1 Lichttag

Bild-Quelle:
Wikimedia



“Pale blue dot”

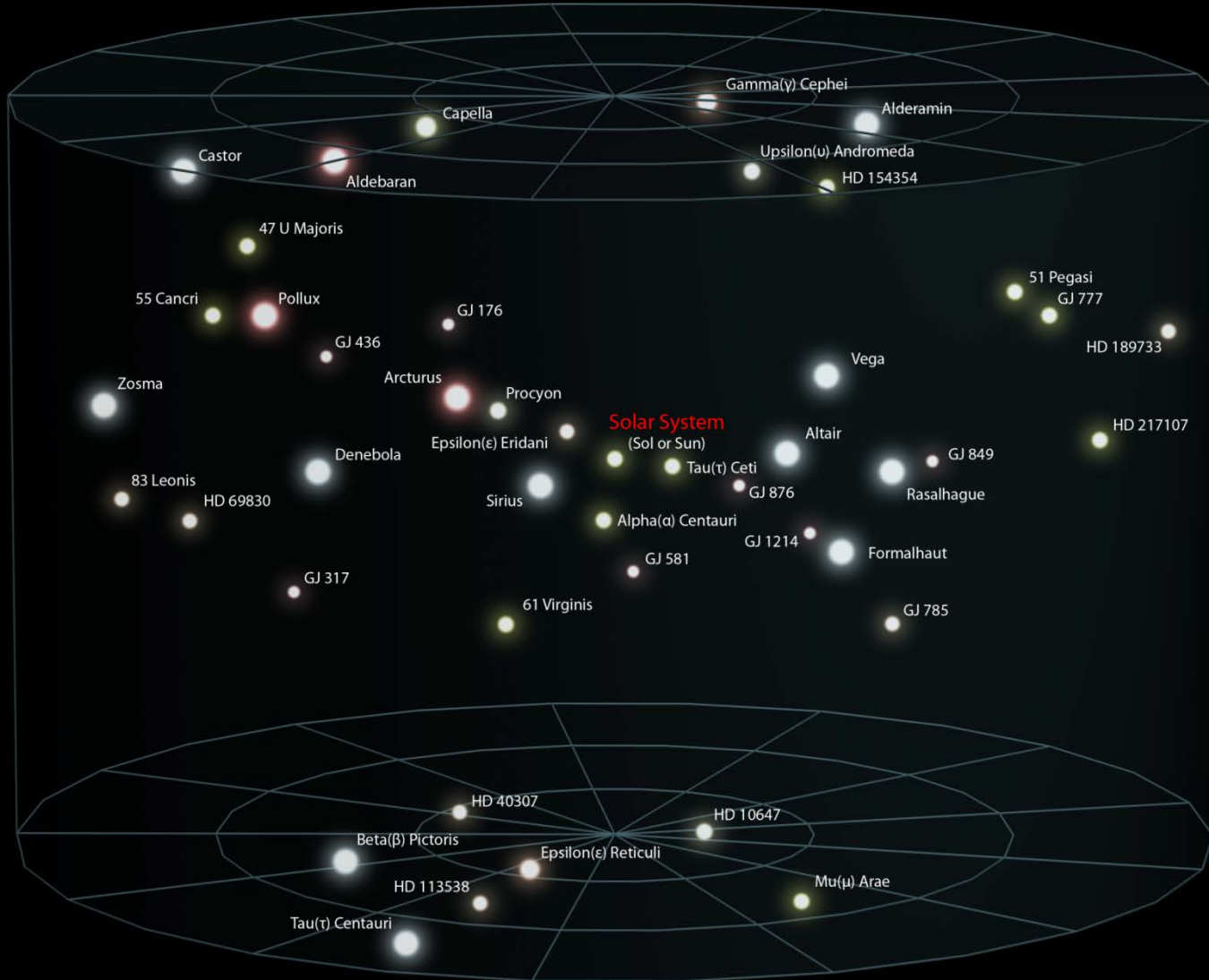
Voyager 1
schaut aus
6 Mrd. km
Entfernung
zurück zur
Erde

Start von
Voyager 1:
05.07.1977,
Aufnahme:
13.10.1994

Quelle:
NASA

Interstellare Nachbarschaft

x 60.000



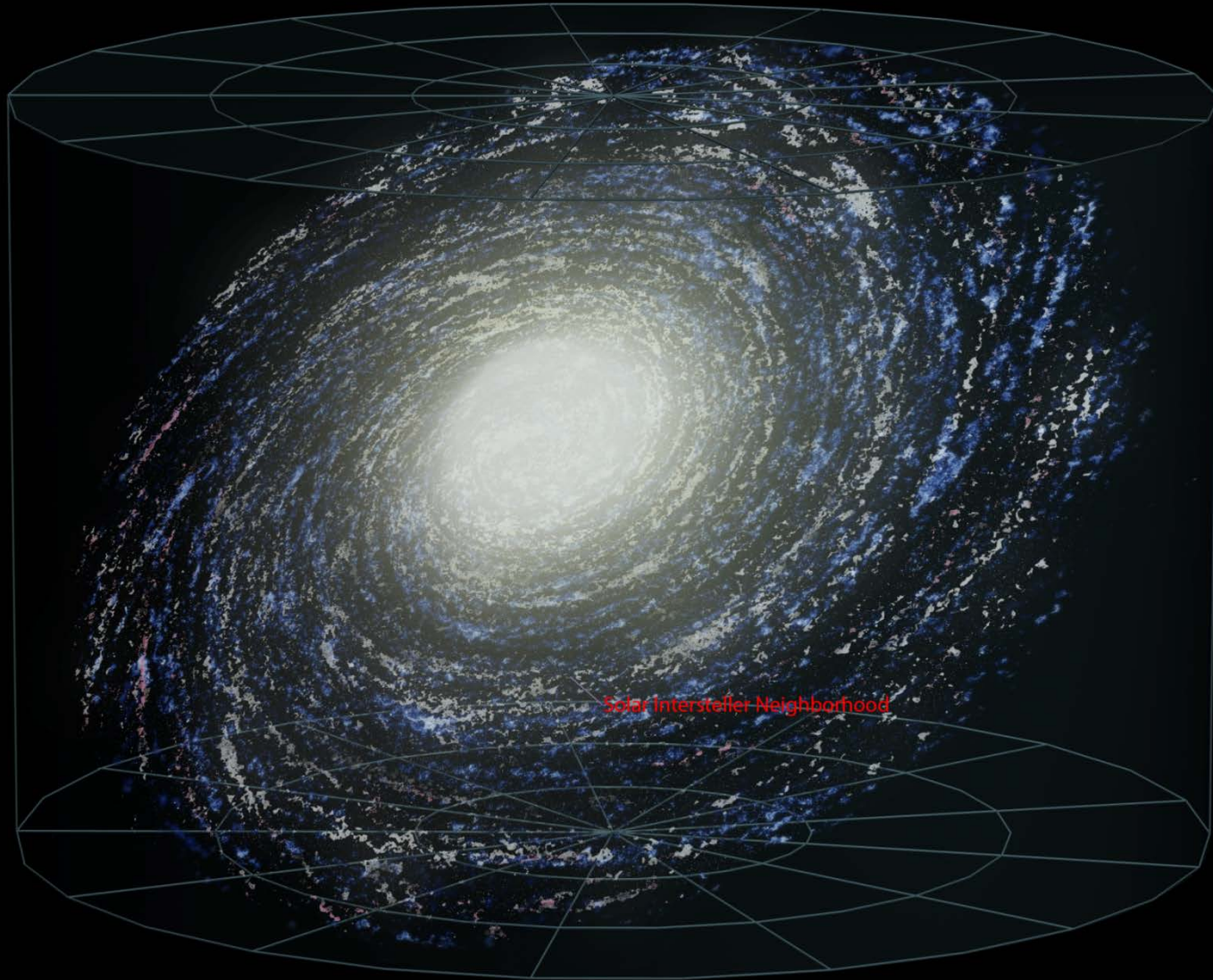
Bereich

150
Lichtjahre

Bild-Quelle:
Wikimedia

Die Milchstraße oder Galaxis

x 1.000



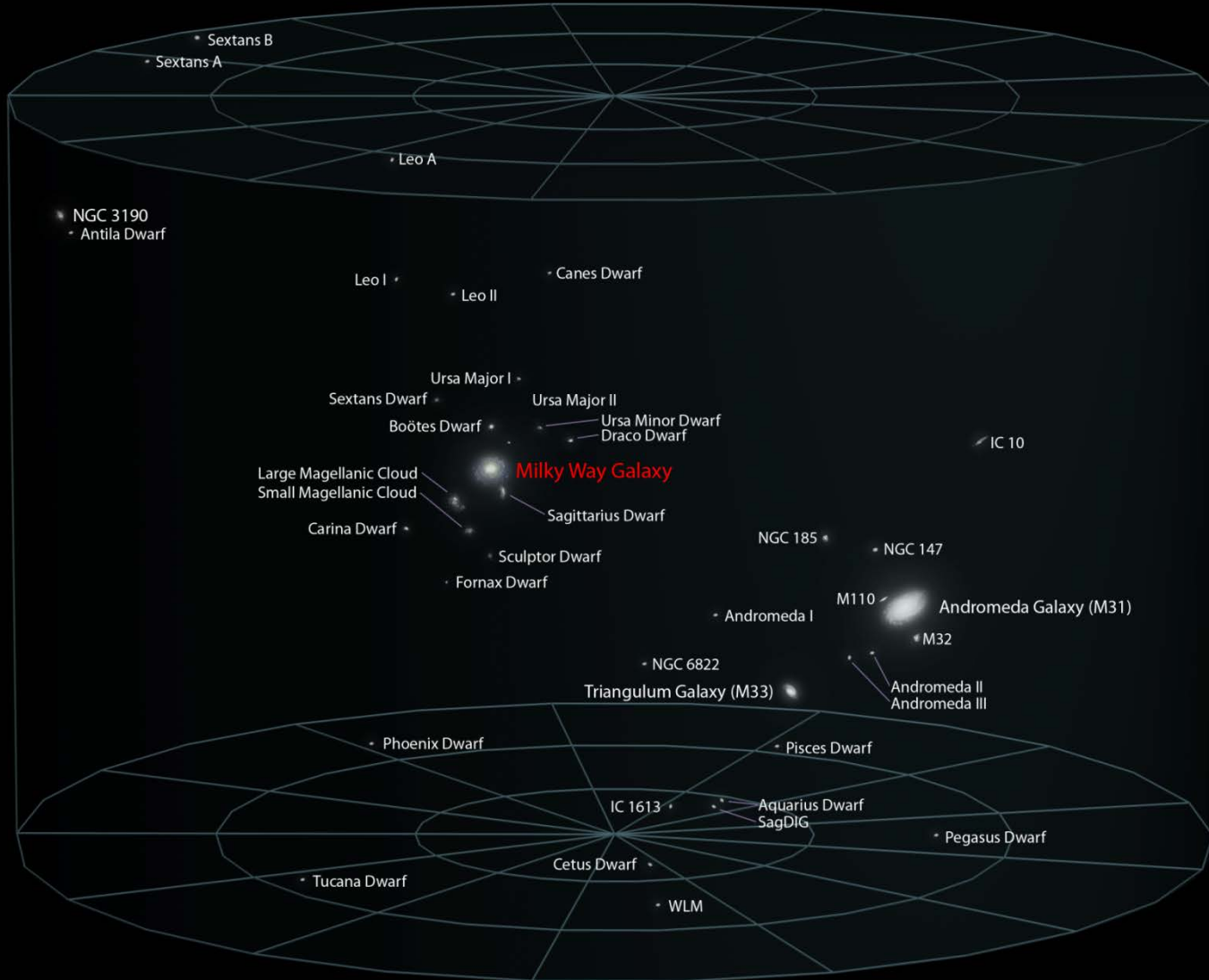
Größe

100 000
Lichtjahre

Bild-Quelle:
Wikimedia

Lokale Galaxiengruppe

x 100



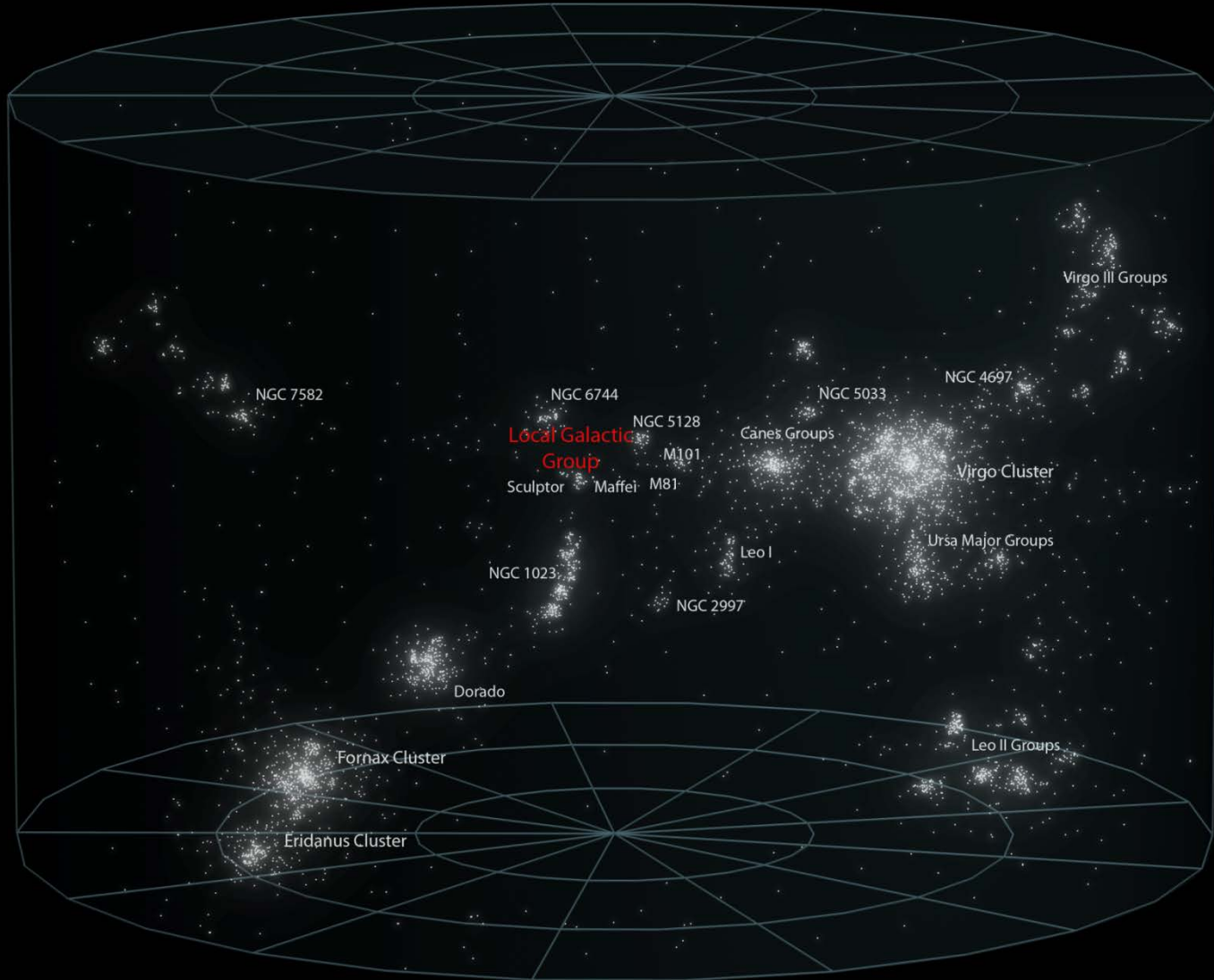
Größe

ca. 10 Mio.
Lichtjahre

Bild-Quelle:
Wikimedia

Virgo-Superhaufen

x 100



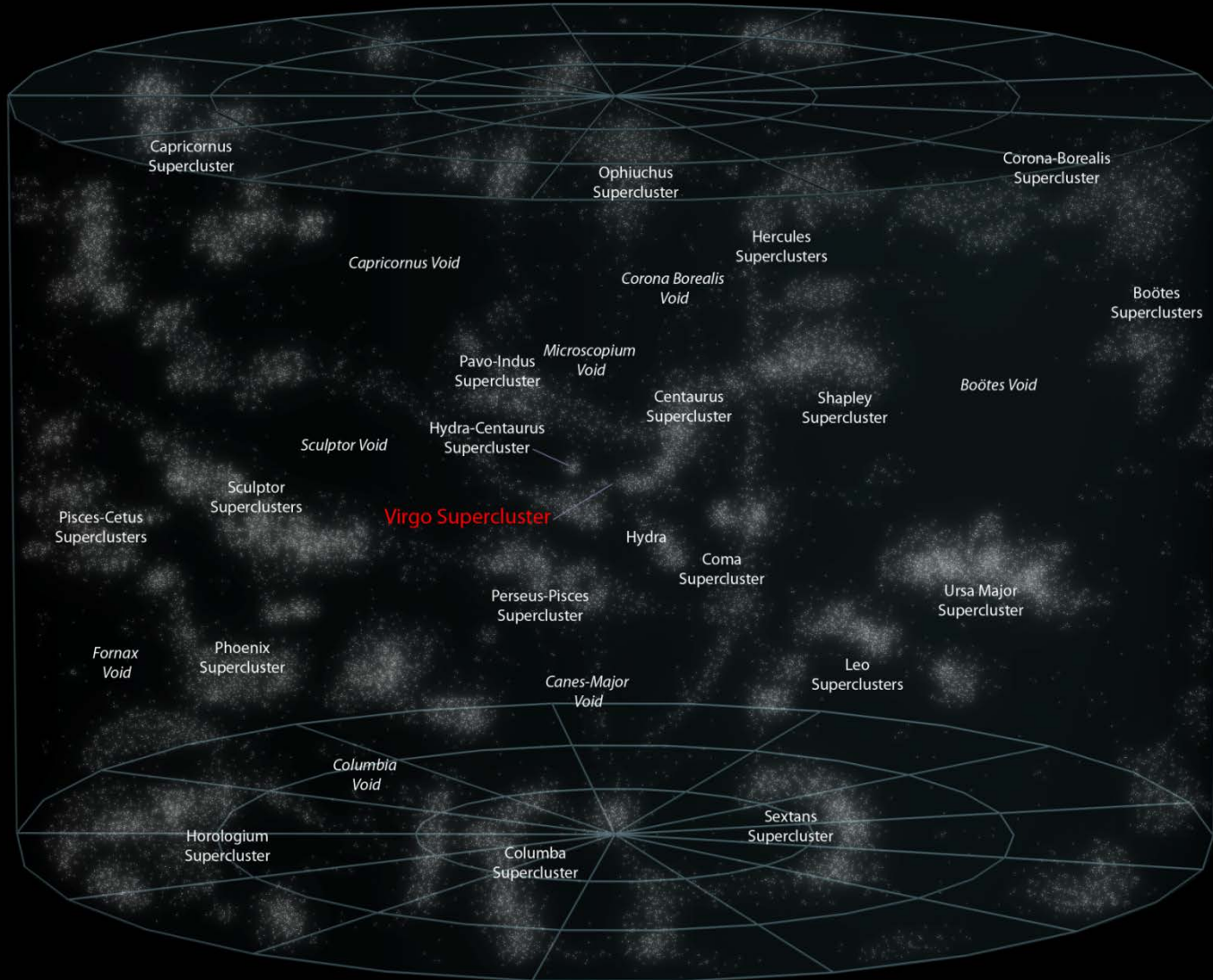
Größe

110 Mio.
Lichtjahre

Bild-Quelle:
Wikimedia

Lokale Superhaufen

x 15



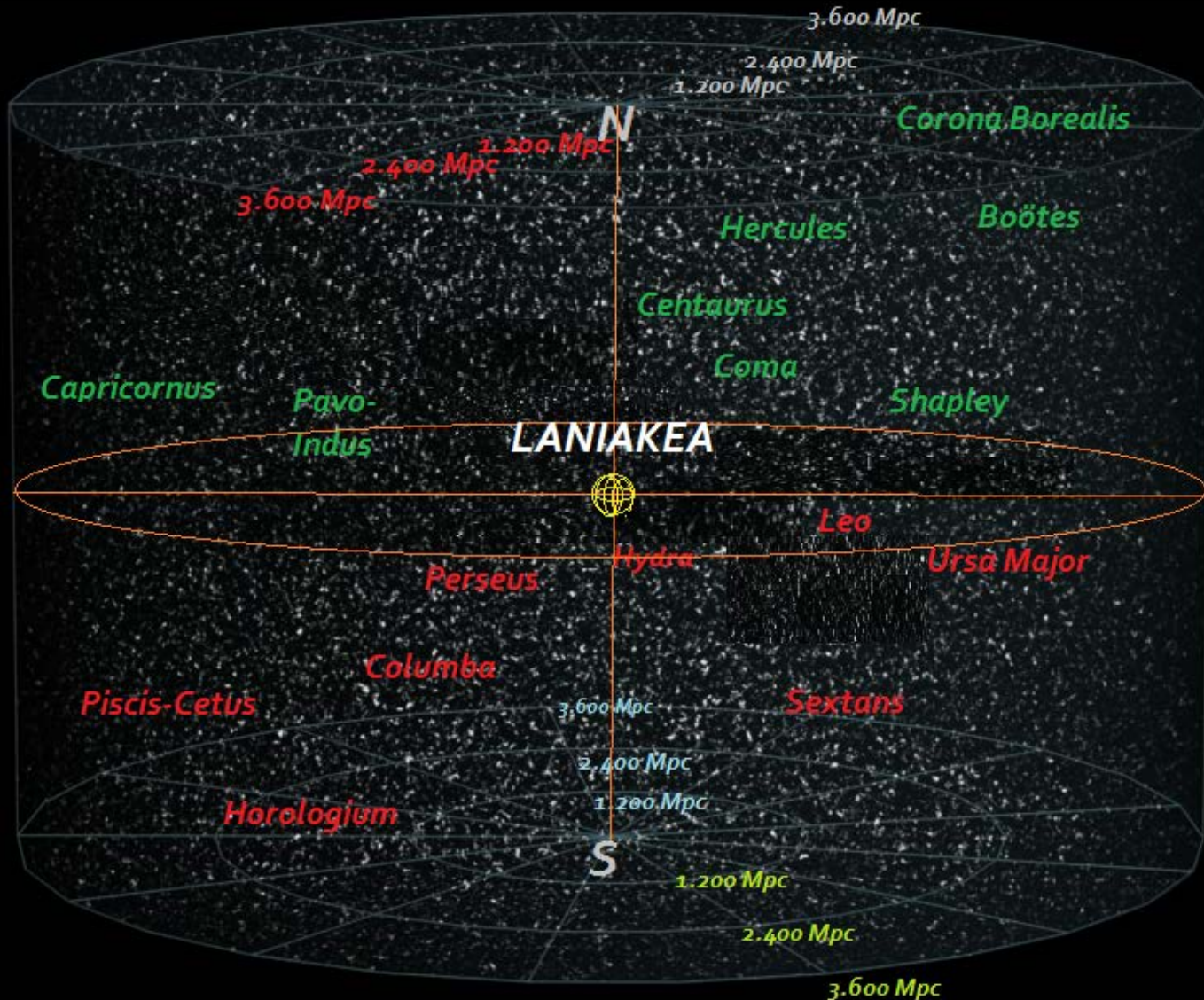
Größe

1,5 Mrd.
Lichtjahre

Bild-Quelle:
Wikimedia

Beobachtbares Universum

x 20



Größe

2 x 13,8 Mrd.
Lichtjahre

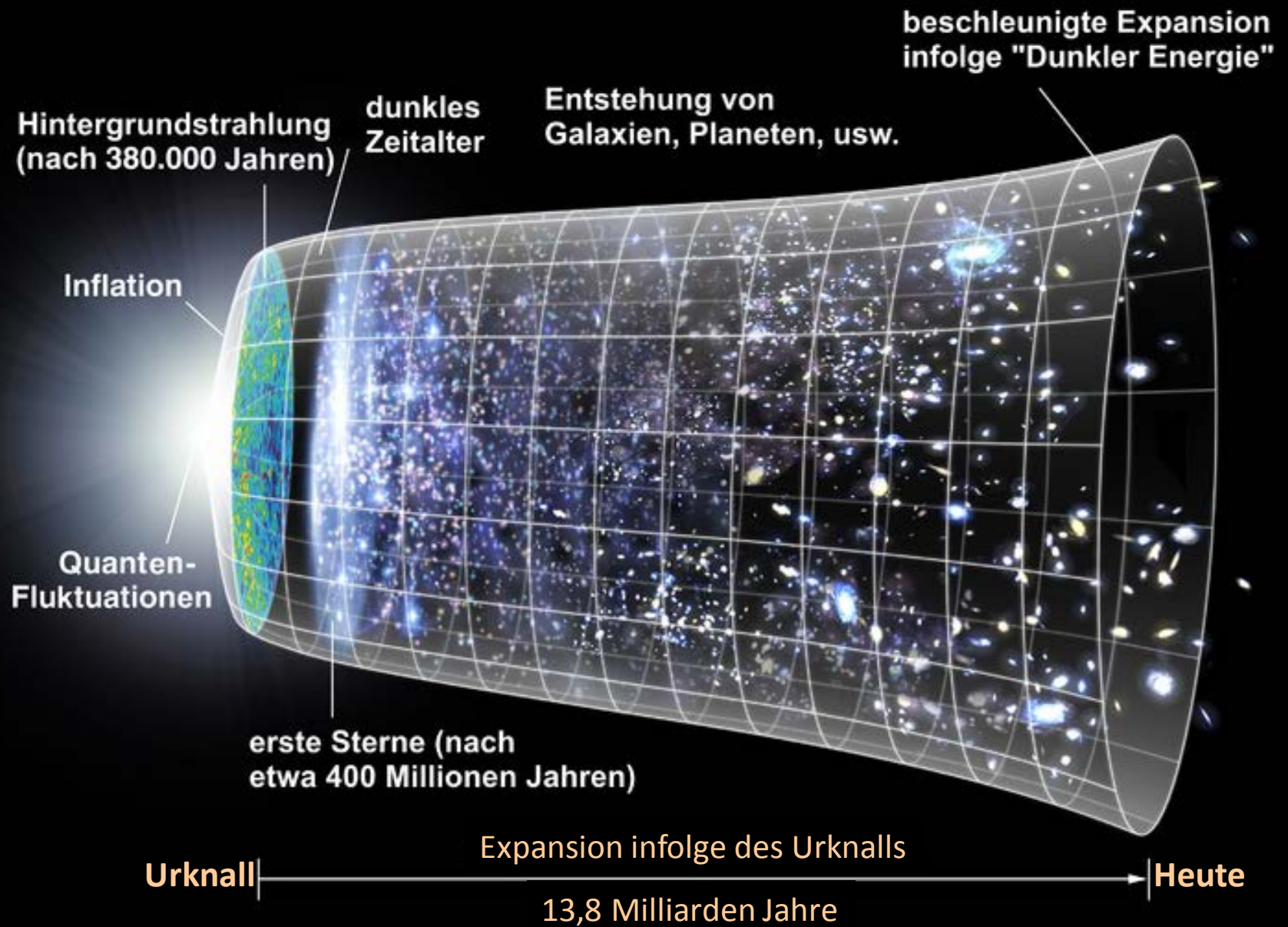
bzw.

wegen der
Ausdehnung
des Raumes:

2 x 46,5 Mrd.
Lichtjahre

Bild-Quelle:
Wikimedia

Die Entwicklung des Universums



Schlußfolgerungen

Wie groß ist das Universum? → Wahrscheinlich unendlich groß

Das beobachtbare Universum: → Wir schauen 13,8 Mrd. Jahre zurück

bzw. 380 000 Jahre weniger,
weil das Universum vorher noch nicht durchsichtig war,
oder sogar 400 Mio. Jahre weniger,
weil es vorher noch keine Sterne gab

Objekte, auf die wir die wir in angeblich „13,8 Mrd. Lichtjahren Entfernung“ sehen (hier sind selbst die Profis manchmal ungenau ...),
sehen wir so, wie sie vor 13,8 Mrd. Jahren waren

– damals waren sie uns noch viel, viel näher: sie waren neben uns

„Heute“ sollten sie sich auf Grund der Ausdehnung des Raumes in
der Entfernung von 46,5 Mrd. Lichtjahren befinden



Vielen Dank für Euer/Ihr Interesse